

淡水ブルーカーボン推進に向けた CO₂ フラックス推定モデルの開発

Development of Carbon Flux Model for Freshwater Blue Carbon

中山 恵 介
Keisuke Nakayama

1. はじめに

世界各地で局所的な豪雨や大型台風などの自然災害が多発している。その原因の一つとして考えられているのが、地球温暖化である。IPCC 第 6 次評価報告書によると、2019 年における大気中の二酸化炭素濃度は 200 万年前のどの時期よりも高く、メタンなどの濃度も 80 万年前のどの時期も高いとされており、熱波などの高温による現象の頻度が高まったことは、人間の活動による気候変動が主な要因であるとされている¹⁾。したがって、二酸化炭素などの温室効果ガスを削減することが喫緊の課題となっている。

地球温暖化の緩和策として、沿岸域におけるブルーカーボン研究が世界的に成されている²⁾。沿岸域が占める浅海域の面積は、世界の海洋の全面積である 3 億 6000 万 km² の約 0.5% の 180 万 km² である。一方で、陸域に存在する湖沼の全面積は 500 万 km² であり、浅海域の 2 倍以上である。その面積の大きさに関わらず、陸域は炭素の供給源であると考えられてきた歴史があり、湖沼、貯水池、ため池などを炭素の吸収源として考えることができおらず、ブルーカーボン研究が進んでいない。さらに、より小さな面積の湖沼 (<0.1km²) は湖沼面積全体の 25% から 35% を占めているにも関わらず研究対象となっていない。そこで本研究では、淡水ブルーカーボン研究を推進するため、小面積湖沼の代表である神戸市の烏原貯水池を対象とし現地観測を実施した。また、ササバモを対象として屋外実験を実施し、水草の炭素貯留効果を表す式のパラメータ推定を行うことで、その炭素貯留効果を推定した。

2. 烏原貯水池における水温・DO 分布

2. 1 貯水池の概要

本研究で対象とした烏原貯水池（北緯 34° 41′ 30″，東経 135° 9′ 19″）は、神戸市兵庫区に位置している。面積は 115,396m²、最大水深は 19m であり、流入河川として烏原川がある。1960 年以降の人々の生活の変化により、家庭排水が増加し、それが貯水池に流入することで貯水池内の富栄養化および低層の嫌気化が進行し、プランクトンの増殖、水草の減少などを引き起こした。そのため、1983 年度から間欠揚水筒の運用を開始し、貯水池内の水を曝気させている。その結果、水質は改善されており、底層における嫌気化は生じなくなった。しかし、1987 年以降において、毎年夏にアオコが発生するなどの問題がある（図-1）。なお、1994 年に起こった全国規模の大湯水により、日光が底層の水草まで届いたため水草が成長し、有害なプランクトンが減少したという事例があった。



図-1 烏原貯水池において発生しているアオコ

2. 2 観測結果

1967年から2018年までの約50年間にわたり、取水塔前における水深0m, 1m, 4m, 8m, 12m, および底層付近において採水が行われており、本研究ではそれらのデータの解析を中心に行った。計測項目は、水温、pH、濁度、色度、電気伝導度、アルカリ度 (Total Alkalinity : TA)、溶存酸素濃度 (Dissolved Oxygen : DO)、クロロフィル、マンガン、BOD、COD、TOC、全窒素、アンモニア態窒素、亜硝酸態窒素、硝酸態窒素、全リン、リン酸態リン、過マンガン酸カリウム消費量、塩素イオンである。全ての項目が全期間にわたり利用可能というわけではない。さらに、2000年3月から2010年3月までは水質検査が実施されておらずデータが存在しない。水位を大きく低下させることで、烏原貯水池が治水対策に利用されたためである。

水温の鉛直分布の時系列データから、1983年までは明確な成層が春から秋にかけて形成されていたことがわかった(図-2)。対応するように、1983年までは春から秋にかけて、底層を中心とした下層において低濃度のDOが形成されており、無酸素を含む貧酸素水塊が発生していた(図-3)³⁾。紙面の都合上、マンガンなどの時系列については省略するが、貧酸素水塊の発生に伴い、高濃度のマンガンなどが存在していた。1983年以降、底層に曝気装置が導入された。その結果、1983年から2000年の春から秋にかけて、以前は形成されていた成層が完全に消滅していた。対応して貧酸素水塊の発生も抑制されていた。また、マンガンなどについて、曝気装置が導入されたことで大きく濃度が低下していた。2010年以降は、曝気装置が稼働しない年があったため、一部で成層が形成されていた。しかし、曝気装置により下層の水質が長年にわたり改善され、底層が好気状態であったこともあり、曝気装置が稼働していない状態でもマンガンなどの溶出量は小さかった。なお、現地観測では、直接、水中の二酸化炭素分圧を計測できていないため、pHやアルカリ度から推定する必要がある。しかし、次章の屋外実験で示すように、既存の推定式の精度に問題があるため、本報告ではその推定値について記載しない。誤った情報が独り歩きすることを防ぐためである。

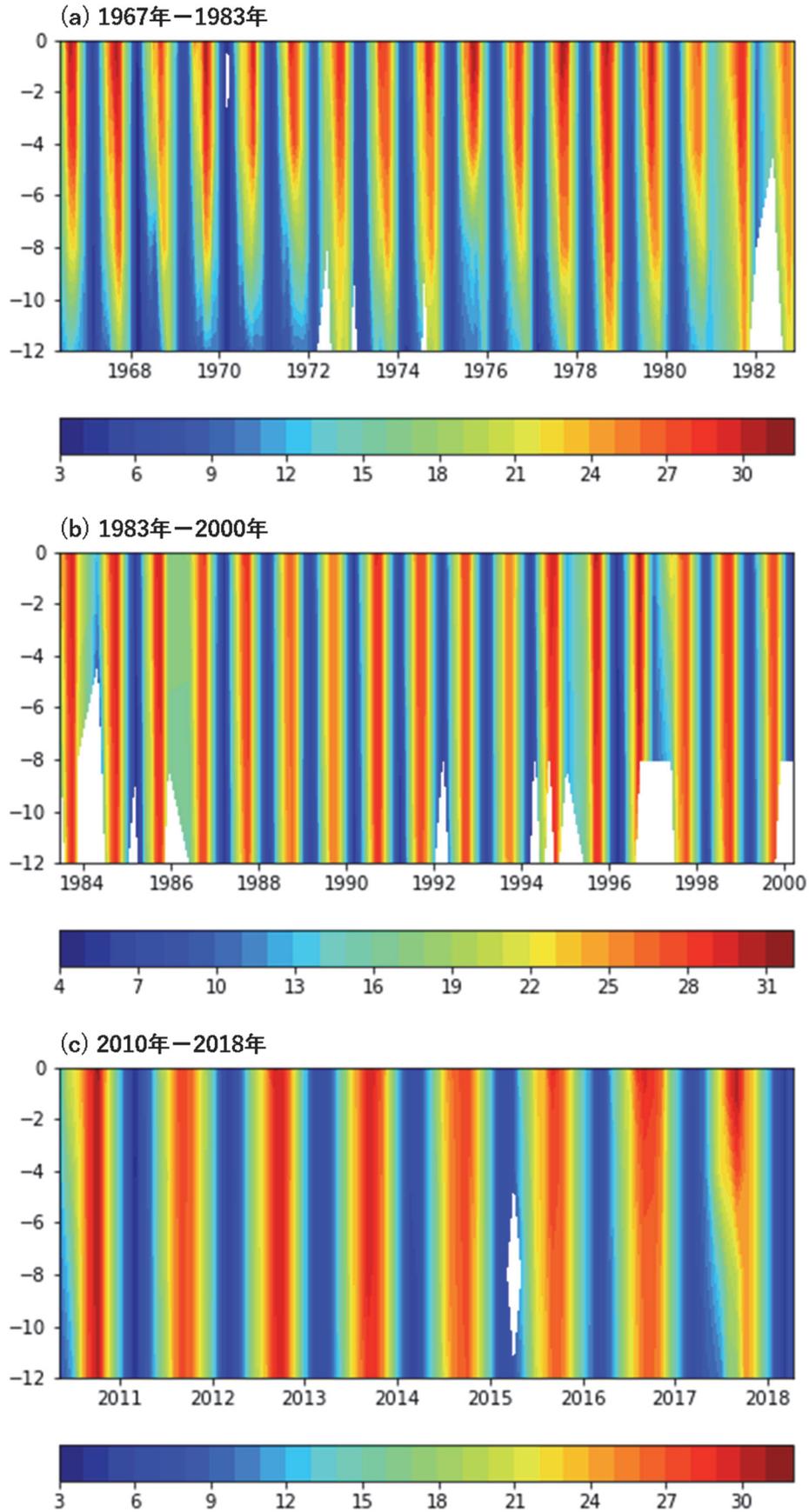


図-2 烏原貯水池における水温の鉛直断面コンタ.

(a) 1967年から1983年. (b) 1983年から2000年. (c) 2010年から2018年.

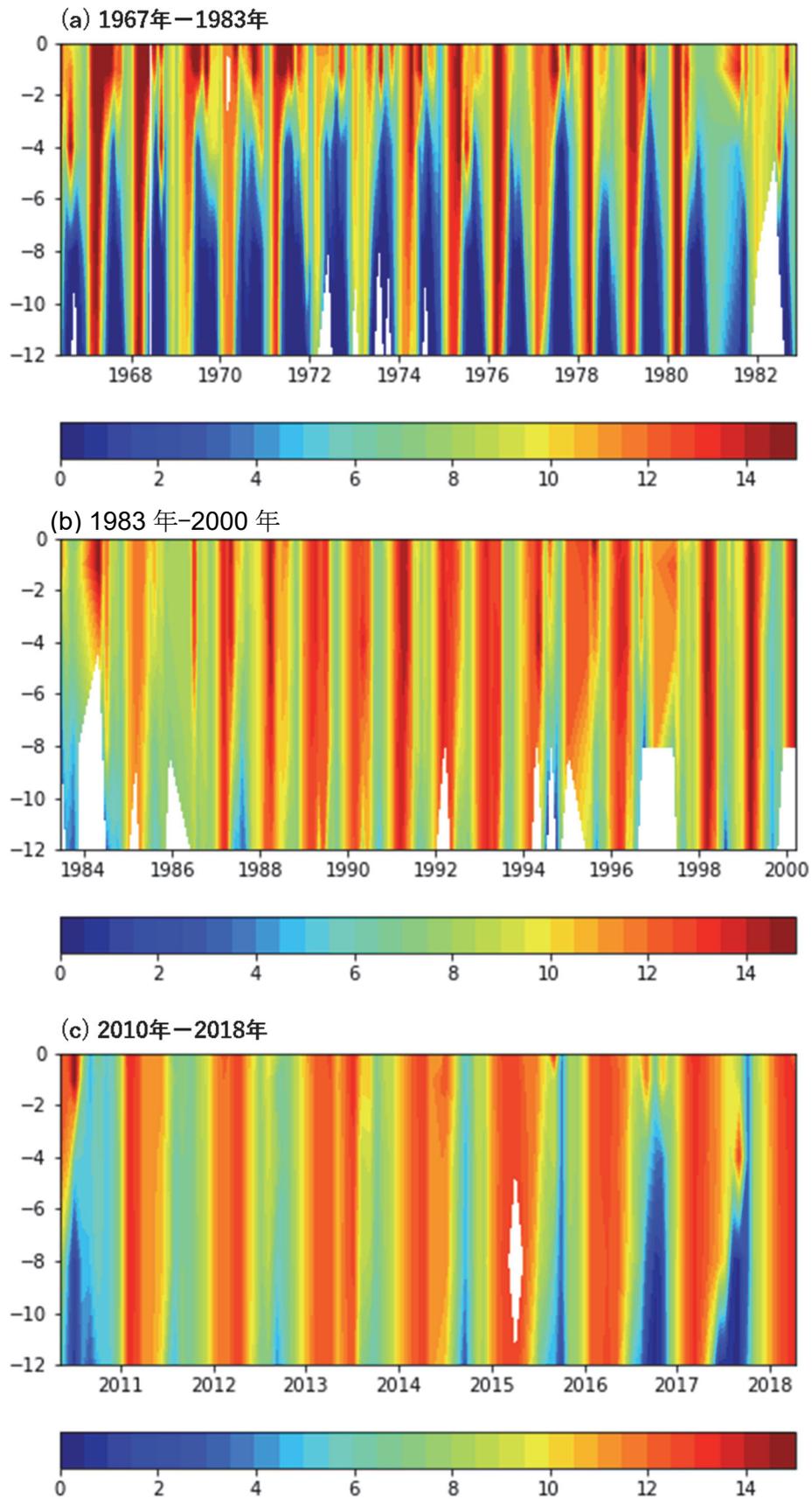


図-3 烏原貯水池におけるD0の鉛直断面コンタ.

(a) 1967年から1983年. (b) 1983年から2000年. (c) 2010年から2018年.

3. 屋外実験による二酸化炭素分圧の計測

3. 1 実験方法

対象とする水草はササバモとし、ササバモが生息していた琵琶湖の水を用いて実験を行った(図-4)⁴⁾。いずれも実験日の午前中に採取したものを使用した。実験は、2021年9月27日18時から28日19時までの期間で行った。アクリル板で作られた縦40cm、横40cm、高さ120cmの水槽を用意し、水草および水をその中に入れた。その際、付着している物質による酸素消費をしないようにするため、水草の根はラップで包み、均等になるように16シュートを水槽内に配置した。1時間ごとに水深10cmの場所から200mLの採水を行った。採水した水は分析を行い、TAおよび溶存無機炭素(Dissolved Inorganic Carbon : DIC)を測定した。また、水草を入れた水槽とは別に、水草を入れていないブランク水槽(縦40cm、横40cm、高さ60cm)を用意し、6時間ごとに200mLの採水およびTA、DICの分析を行った。同時に水中二酸化炭素分圧、pH、水温、光量子密度も計測した。



図-4 屋外実験に使用した琵琶湖のササバモ(左写真)と実験水槽(右写真)。

3. 2 実験結果

実験開始が夕方であったこともあり、翌日の朝方にかけて徐々に水温が低下していた。その後、曇りの天気ではあったが、日中に向けて水温が7°C程度上昇しており、水温変化を検討するにはよいデータであったと考えられる(図-5)。曇天であったこともあり、光量子密度に関しては2021年9月28日の午前10時付近でピークを有する分布となっていた。この点は、定式化の際に注意すべきであることがわかる。一方で、水中二酸化炭素分圧については、夜間においてササバモの呼吸により徐々に増加し、日の出とともに減少していることが確認された。本報告では詳細は省略するが、採水結果によるDICとTAを用いて既存の水中二酸化炭素分圧推定式⁵⁾を利用した結果、大きな差が発生することがわかった。既存の水中二酸化炭素分圧推定式は、pHが8以下で検証された式であり、日本の湖沼のように植物プランクトンの発生によりpHが8以上となる淡水域への適用に関しては追加の検証が必要である。本研究の重要な成果として、既存式の適用ができないことが示されたことから、今後、新たな式の作成が必要であることがわかった。

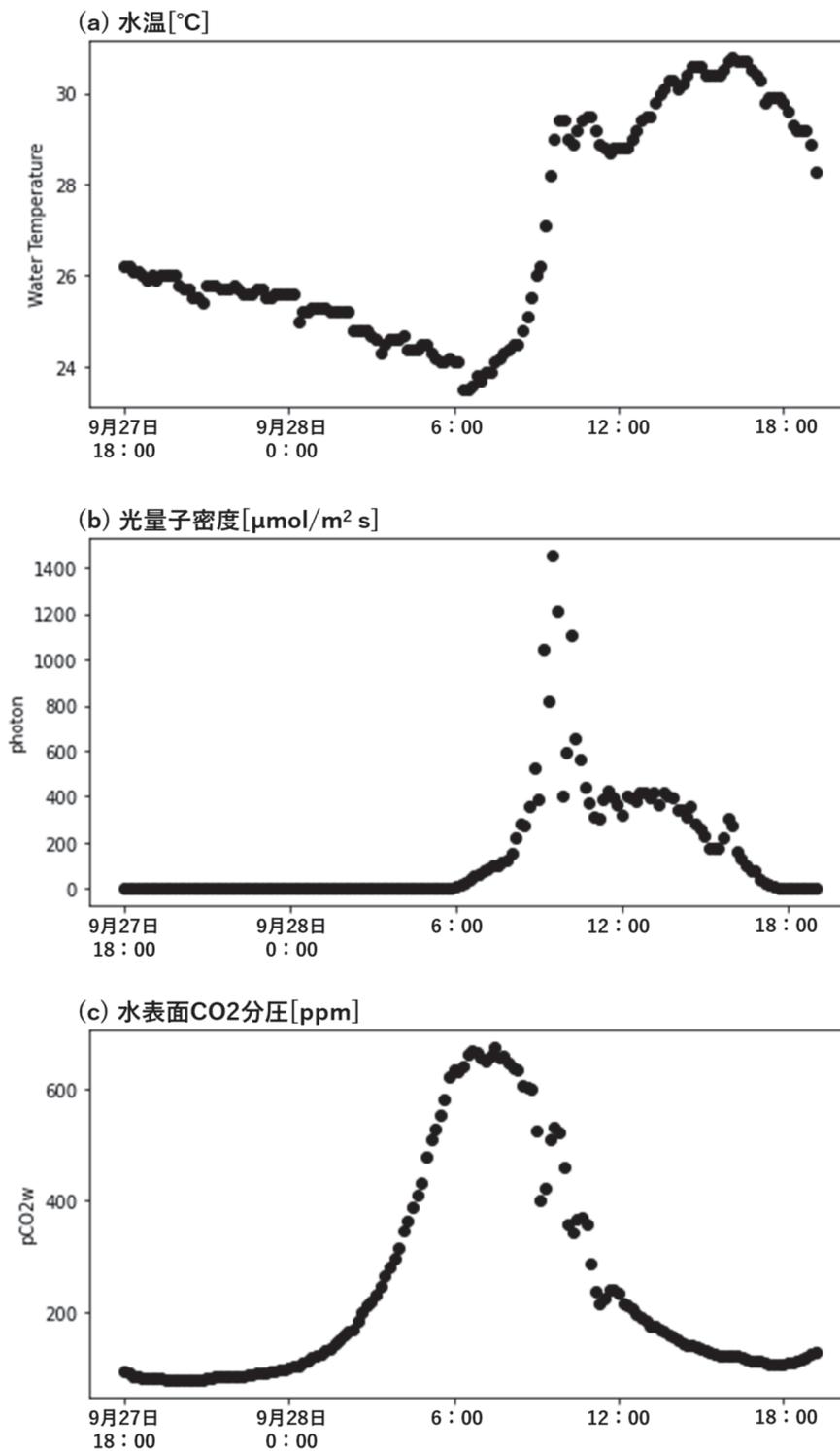


図-5 屋外実験の計測結果. (a) 水温. (b) 光量子密度. (c) 水中二酸化炭素分圧.

4. おわりに

本研究では、ササバモを用いた屋外実験と鳥原貯水池の炭素貯留に関する解析を行うことを目的とした。その重要な成果として、DIC および TA から水中二酸化炭素分圧を推定する既存の式がそのまま適用できないことがわかった。その原因は、植物プランクトンの影響により pH が 8 以上となることにあると考えられた。世界的にみて、水中二酸化炭素分圧の推定式は、その精度に若干の問題があることから、高精度な炭素フラックスの推定には利用しない傾向にある。

しかし、地球温暖化の影響を評価するためには、過去の計測結果を利用して炭素フラックスを推定する必要がある。つまり、水中二酸化炭素分圧の推定式の利用は必須であり、より高精度な推定式の提案が必要であると考えられる。本研究において、日本の淡水域のように植物プランクトンの影響により pH が 8 以上となる場合には、新たな式を提案する必要があることが示されたことは、その観点から重要な研究成果であると考えられる。今後、より多くのデータを現地観測による収集することにより、新たな式の提案を行っていききたい。

参 考 文 献

- 1) IPCC: Valerie M.D., Panmao Z, Anna P., Sarah L.C., Clotilde P., Yang C., Leah G.,Melissa I. G., J.B.Robin M., Sophie B., Mengtian H., Ozge Y., Rong Y., Baiquan Z., Elisabeth L., Thomas K. M., Tim W., Katherine L., Nada C. (Eds.): Climate Change 2021 The Physical Science Basis, *Working Group I Contribution to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*, 8p. 2021
- 2) Nellemann, C., Corcoran, E., Duarte, C. M., Valdes, L., De Young, C., Fonseca, L., Grimsditch, G. : Blue carbon, A rapid response assessment, *United Nations Environmental Programme, GRID-Arendal, Norway*, Vol.80, 2009.
- 3) 山元幸之助, 中山恵介, 藤井智康, 藤原建紀, 清水武俊, 小林健一郎 : 貯水池底層における貧酸素水塊発生機構の解明, *土木学会論文集 B1(水工学)*, Vol.74, No.5, pp.I_535-I_540, 2018.
- 4) K.Nakayama, K.Komai, K.Tada, H.C.Lin, H.Yajime, S.Yano, M.R.Hipsey, J.W.Tsai : Modeling dissolved inorganic carbon considering submerged aquatic vegetation, *Ecological Modelling*, Vol.431, 2020.
- 5) Zeebe, R. E. and Wolf-Glandrow, D. : CO₂ in seawater : equilibrium, kinetics, isotopes, *Amsterdam, Elsevier*, 65, 346p., 2001.

著 者

中山 恵介 所員, 博士 (工学), 水工学